

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Off nl gungsschrift  
10 DE 43 35 332 A 1

51 Int. Cl. 6:  
G 01 D 21/00  
G 01 F 1/68  
G 01 K 13/02  
G 05 D 23/00

21 Aktenzeichen: P 43 35 332.0  
22 Anmeldetag: 18. 10. 93  
43 Offenlegungstag: 20. 4. 95

DE 43 35 332 A 1

71 Anmelder:  
bitop Gesellschaft für biotechnische Optimierung  
mbH, 58453 Witten, DE

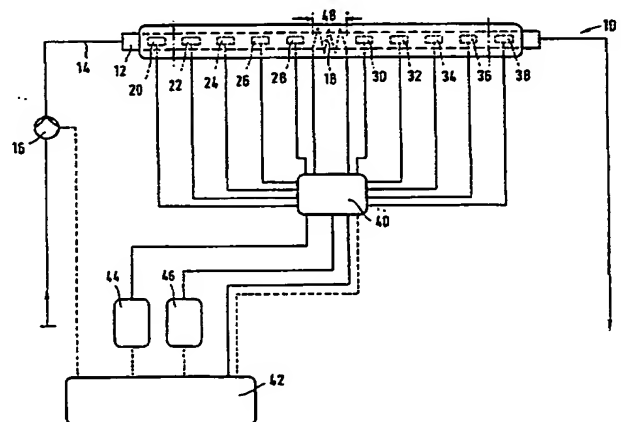
74 Vertreter:  
von Kreisler, A., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.;  
Werner, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Fues, J.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Böckmann gen. Dallmeyer,  
G., Dipl.-Ing.; Hilleringmann, J., Dipl.-Ing.; Jönsson,  
H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Meyers, H., Dipl.-Chem.  
Dr.rer.nat.; Weber, T., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.,  
Pat.-Anwälte, 50667 Köln

72 Erfinder:  
Wolff, Elmar K., Dr., 44267 Dortmund, DE; Rosenthal,  
Werner, 58675 Hemer, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur insbesondere nicht invasiven Ermittlung mindestens eines interessierenden Parameters eines Fluid-Rohr-Systems

57 Bei dem Verfahren bzw. der Vorrichtung wird ein Rohr (12) verwendet, das von dem zu vermessenden Fluid durchströmt wird. Außen an dem Rohr (12) in axialer Erstreckung desselben sind aufeinanderfolgend mehrere Temperatursensoren (20-38) angeordnet, mit denen sich die Temperatur des Rohres (12) an mehreren Meßpunkten bestimmen läßt. Im mittleren Abschnitt des Rohres (12) befindet sich ein Heizelement (18), über das das Rohr (12) örtlich beheizt werden kann. Das sich einstellende Temperaturprofil wird dann durch die einzelnen Temperatursensoren (20-38) abgetastet. Dieses Temperaturprofil ist für jeden Wert des interessierenden Parameters des Fluid-Rohr-Systems charakteristisch, so daß anhand der Meßwerte auf den interessierenden Parameter, beispielsweise den Massedurchfluß geschlossen werden kann.



DE 43 35 332 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 02. 95 508 016/277

11/30

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur insbesondere nicht invasiven Ermittlung eines interessierenden Parameters eines Fluid-Rohr-Systems Mit dem Ausdruck "interessierender Parameter" soll insbesondere die Strömungsgeschwindigkeit gemeint sein; ein interessierender Parameter kann aber beispielsweise auch die Fluidzusammensetzung, die Viskosität, der Verschmutzungsgrad eines Fluids, Lochfraßbildung im Rohr und Inkrustierungen an der Innenwand des Rohres sein. Mehrere interessierende Parameter des Fluid-Rohr-Systems können auch gleichzeitig ermittelt werden. Mit dem Ausdruck "Fluid" sind im Rahmen dieser Erfindung sowohl Gas- als auch Flüssigkeitsströme als auch Zwei-Phasen-Ströme, sämtliche gegebenenfalls mit Partikeln (fest und flüssig in Form von Tropfen) gemeint.

Für eine Vielzahl von Anwendungen, insbesondere bei vielen biotechnologischen Fragestellungen, ist die exakte Messung kleiner bis kleinster Strömungsgeschwindigkeiten von Fluiden von großem Interesse. Dabei wird ferner gefordert, daß die Strömungsgeschwindigkeitsmessung on-line erfolgt. Die bekannten Sensoranordnungen zur Ermittlung von Strömungsgeschwindigkeiten lassen sich in folgende Gruppen unterteilen: Sensoren, bei denen Meßkörper (Rotationskörper oder Schwebekörper) in ein strömendes Fluid eingebracht werden, um optisch oder magnetisch die Bewegung der Meßkörper zu erfassen, um daraus wiederum auf die Strömungsgeschwindigkeit zu schließen. Ferner sind im Stand der Technik Sensoranordnungen bekannt, die eine thermodynamische Messung im Fluid-Rohr-System vornehmen.

Eine Meßvorrichtung zur thermodynamischen Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit eines Fluids ist in EP 0 342 763 B1 beschrieben. Dieser bekannte Meßaufbau weist ein Meßrohr auf, durch das das Fluid strömt. Die beiden Enden des Meßrohres sind thermisch gekoppelt und in der Mitte zwischen den beiden Enden ist ein Heizelement zum Beeinflussen der Temperatur des Meßrohres angeordnet. Das Meßrohr ist zwischen seinen beiden Enden und dem Heizelement über ein wärmeleitendes Material verbunden. Außen an dem Rohr sind zwei Temperatursensoren angeordnet, von denen jeweils einer zu einer Seite des Temperaturbeeinflussungsbereichs (Heizelement) angeordnet ist. Für die thermodynamische Messung der Strömungsgeschwindigkeit wird angenommen, daß der Temperaturabfall ausgehend von dem Heizelement zu den beiden Enden jeweils linear ist. Sofern sich kein Fluid im Rohr befindet oder aber die Fluidströmung steht (Strömungsgeschwindigkeit gleich Null), sollen beide linearen Temperaturabfälle vom Heizelement zu den beiden Rohrenden gleich sein. Sobald Fluid strömt, stellt sich eine Temperaturdifferenz an den beiden Meßpunkten ein, die ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit ist. Zur Kompensation des Fehlers aufgrund des mangelnden Temperatursausgleichs bei hohen Strömungsraten wird in EP 0 512 655 A2 für einen Sensor nach EP 0 342 763 B1 vorgeschlagen, zusätzlich die Steigung des linearen Temperaturabfalls stromauf oder stromab des Heizelements zu ermitteln. Die bekannten Meßanordnungen nach EP 0 342 763 B1 und deren Verbesserung gemäß EP 0 512 655 A2 sind für Kleinstflußraten (kleiner als einige ml/Min. bis einige 10 ml/Min.) nicht ausgelegt. Aus EP 0 131 318 A1 ist ein Fluid-Rohr-System zur Strömungsgeschwindigkeitsermittlung be-

kannt, bei dem vier Dünnschichtwiderstände, die in wärmeleitendem Kontakt mit dem Rohr stehen und sich infolge eines Stromdurchflusses erwärmen, zu einer Brückenschaltung geschaltet sind, wobei das Meßsignal an der Brücke der Brückenschaltung abgenommen wird.

Aus EP 0 215 509 A1 ist ein Meßaufbau zur invasiven Messung der Strömungsgeschwindigkeit bekannt, bei dem ein dem Fluidstrom ausgesetzter aktiver Sensor intermittierend aufgeheizt und danach jeweils abgekühlt wird. Anhand der Abkühlrate kann dann auf die Strömungsgeschwindigkeit geschlossen werden.

Schließlich ist in EP 0 467 430 A1 ein Strömungsmesser mit unterschiedlich dimensionierten aktiven Sensoren und einer Heizung beschrieben, wobei die Sensoren zu einer Seite der Heizung, nämlich stromab des Fluidstroms, angeordnet sind. Die Ausgangssignale der beiden Sensoren werden unter Zwischenschaltung von elektrischen Widerständen den Eingängen eines Operationsverstärkers zugeführt, dessen Ausgang mit der Basis eines Transistors verbunden ist, dessen Emitter über elektrische Widerstände mit den Eingängen des Operationsverstärkers verbunden ist. Das Ausgangssignal dieser Sensoranordnung, das die Flußrate repräsentiert, wird am nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers abgegriffen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung mindestens eines interessierenden Parameters eines Fluid-Rohr-Systems zu schaffen, mit denen sich auch kleinste Veränderungen des interessierenden Parameters zuverlässig ermitteln lassen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei dem Verfahren vorgeschlagen, daß

- dem Rohr längs seiner axialen Erstreckung ein nicht lineares Temperaturprofil durch Beeinflussung der Temperatur in einem Beeinflussungsbereich des Rohres auf geprägt wird,
- in axialer Erstreckung des Rohres betrachtet an mehreren Meßpunkten die Temperatur des Rohres zur punktwisen Abtastung von dessen Temperaturprofil gemessen wird und
- anhand des gemessenen Temperaturprofils der interessierende Parameter des Fluids ermittelt wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist versehen mit

- einem Rohr, in dem sich das Fluid befindet,
- einer Temperaturveränderungsvorrichtung zur Beeinflussung der Temperatur des Rohres zwecks Aufprägung eines nicht linearen Temperaturprofils entlang der Längserstreckung des Rohres, wobei die Temperaturveränderungsvorrichtung in einem Beeinflussungsbereich des Rohres angeordnet ist,
- mehreren Temperatursensoren, die in axialer Erstreckung des Rohres angeordnet sind und mittels derer die Temperatur des Rohres an einer Vielzahl von Meßpunkten zur punktwisen Abtastung des Temperaturprofils des Rohres ermittelbar ist, und
- einer Steuer- und Signalverarbeitungsvorrichtung, die mit der Temperaturveränderungsvorrichtung sowie den Temperatursensoren verbunden ist und die Temperaturveränderungsvorrichtung ansteuert sowie Ausgangssignale von den Temperatursensoren empfängt und diese auswertet,
- wobei die Ermittlung des interessierenden Para-

meters des Fluids anhand des punktwise abgetasteten Temperaturprofils des Rohres erfolgt.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird der Temperaturverlauf des Rohres, der sich aufgrund einer örtlichen Temperaturveränderung im Beeinflussungsbereich des Rohres einstellt, punktwise abgetastet. Zu diesem Zweck sind eine Vielzahl von Meßpunkten in axialer Erstreckung des Rohres vorgesehen. Entscheidend für die Erfindung ist die Erkenntnis, daß sich bei örtlicher Erwärmung (oder Abkühlung) des Rohres kein linearer Temperaturverlauf längs der axialen Erstreckung des Rohres einstellt. Diese Nichtlinearität wird ausgenutzt, um den interessierenden Parameter thermodynamisch zu ermitteln.

Nach der Erfindung wird das Rohr lokal temperaturbeeinflusst (erwärmt oder abgekühlt). Das sich einstellende Temperaturprofil wird punktwise abgetastet, um dann anhand des sich aus den einzelnen Abtastpunkten ergebenden Temperaturverlaufs den interessierenden Parameter zu errechnen.

Durch die Temperaturabtastung des gesamten Rohres lassen sich leicht Temperaturprofil-Änderungen erfassen, die auf eine Veränderung des interessierenden Parameters zurückzuführen sind. Sofern das thermische Verhalten des Fluid-Rohr-Systems bekannt ist oder berechenbar ist, kann direkt aus dem punktwise abgetasteten Temperaturprofil auf den interessierenden Parameter geschlossen werden. Überraschenderweise hat sich bei Versuchen, bei denen mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens Kleinstflußraten gemessen wurden, herausgestellt, daß die Antwortsignale der einzelnen Temperatursensoren umso größer werden, je kleiner der Massedurchfluß ist. Das heißt, je kleiner der Massedurchfluß, desto größer die Empfindlichkeit, die sich nach dem erfindungsgemäßen Verfahren bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung einstellt.

Vorteilhafterweise sind zu beiden Seiten des Temperaturbeeinflussungsbereichs des Rohres jeweils mehrere Meßpunkte bzw. Temperatursensoren vorgesehen. Damit ist es beispielsweise möglich, den interessierenden Parameter "Massedurchfluß" auch dann genau zu ermitteln, wenn die Strömungsrichtung unbekannt ist. Hierbei ist es ferner zweckmäßig, daß die Meßpunkte symmetrisch zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs gewählt werden. Bei einem insoweit nicht symmetrischen Aufbau der Meßanordnung stellt sich für unterschiedliche Strömungsrichtungen bei gleichem Masse- bzw. Volumendurchsatz jeweils ein unterschiedliches Temperaturprofil ein, was sich nicht negativ auf die Genauigkeit der Auswertung auswirkt, diese jedoch komplizierter gestaltet.

Zweckmäßigerweise ist einer der beiden am weitesten von dem Beeinflussungsbereich des Rohres entfernt liegende Meßpunkt thermisch entkoppelt, d. h. in diesem Meßpunkt ist eine Temperaturbeeinflussung aufgrund einer Temperaturveränderung im Beeinflussungsbereich des Rohres nicht meßbar. Dies dient der Kompensation der Eigentemperatur des zu messenden Fluids. Es sei darauf hingewiesen, daß es grundsätzlich ausreichend ist, daß der stromauf am weitesten von dem Beeinflussungsbereich des Rohres entfernt liegende Meßpunkt thermisch entkoppelt ist; allerdings müßte dann die Strömungsrichtung bekannt sein, um bei der Ermittlung der Flußrate als der interessierende Parameter des Fluids tatsächlich die Eigentemperatur des

Fluids kompensieren zu können. Das gleiche gilt für den Fall, daß nicht die Durchflußrate, sondern ein anderer interessierender Parameter eines strömenden Fluids ermittelt werden soll. Auch in diesem Fall muß die Strömungsrichtung bekannt sein. Insofern vorteilhaft ist es, wenn bei Anordnung mehrerer Meßpunkte jeweils zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs des Rohres der jeweils am weitesten entfernt liegende Meßpunkt thermisch entkoppelt ist.

Die Temperaturveränderung im Beeinflussungsbereich des Rohres wird vorteilhafterweise für die Dauer der Temperaturbeeinflussung kontinuierlich konstant gehalten. Schnellere Messungen lassen sich durch eine Pulsung der Temperaturveränderung, d. h. durch diskontinuierliche Temperaturveränderung erreichen. Die Temperaturveränderungsimpulse sind an den einzelnen Meßpunkten meßbar; sowohl ihre zeitliche Aufeinanderfolge als auch die "Temperatur-Einschwingphasen" an den einzelnen Meßpunkten lassen dann auf den oder die interessierenden Parameter schließen.

Wie bereits weiter oben kurz erläutert, kann anhand des gemessenen Temperaturprofils auf den oder die interessierenden Parameter geschlossen werden, sofern das thermodynamische Verhalten des Fluid-Rohr-Systems in Abhängigkeit von einer Veränderung des oder der interessierenden Parameter bekannt ist bzw. berechenbar ist. Zweckmäßigerweise jedoch wird die Meßvorrichtung vor der Messung kalibriert. Damit können Kennlinienfelder von Temperaturprofilen gemessen werden, die sich einstellen, wenn der oder die interessierenden Parameter des zu untersuchenden Fluids bestimmte vorbekannte Werte aufweisen. Das oder die Kennlinienfelder werden abgespeichert. Bei der aktuellen Messung wird das sich einstellende Temperaturprofil mit dem abgespeicherten Kennlinienfeld verglichen, um dann auf die Größe des (unbekannten) interessierenden Parameters des ausgemessenen Fluids zu schließen. Auf diese Weise können die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren bei bestehenden Fluid-Rohr-Systemen eingesetzt werden, ohne daß spezifische Daten über dieses System zur Anpassung des Verfahrens bzw. der Vorrichtung erforderlich sind.

Eine in konstruktiver Hinsicht zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung betrifft ein Meßrohr, das aus zwei Meßrohrhälften besteht, die durch einen Horizontalschnitt durch ein Meßrohr entstanden sind. Eine der beiden Meßrohrhälften trägt die Temperaturbeeinflussungsvorrichtung (Heiz- und/oder Kühlelement) und die Temperatursensoren. Bis auf die beiden am weitesten von dem Heiz- und/oder Kühlelement entfernt angeordneten Temperatursensoren sind sämtliche Temperatursensoren und das Kühl-/Heizelement in gutem wärmeleitenden Kontakt mit der Meßrohrhälfte. Die beiden Rohrhälften werden wärmeleitend von außen an ein bestehendes Rohr angebracht, das von einem zu vermessenden Fluid durchflossen ist. In der Kalibrierungsphase werden nun Fluide durch das Rohr hindurchgeschickt, dessen bzw. deren interessierende Parameter bekannt sind. Durch Abspeicherung der Temperaturprofile, die sich beim Durchströmen des Rohres von Fluiden mit bekannten interessierenden Parametern ergeben, wird ein Kennlinienfeld erstellt, das die Grundlage der späteren Auswertung der aktuellen Temperaturprofile für Fluide mit unbekannten interessierenden Parametern darstellt.

Nachfolgend wird anhand der Figuren ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert. Im einzel-

nen zeigen:

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer Vorrichtung zur nicht invasiven Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit bzw. des Masse(volumen)durchflusses eines Fluids und

Fig. 2 ein Beispiel für ein Kennlinienfeld, das sich bei der Kalibrierung der Vorrichtung gemäß Fig. 1 ergibt.

In Fig. 1 ist schematisch eine Vorrichtung zur thermodynamischen Ermittlung der Flußrate bzw. des Massedurchflusses einer Flüssigkeit dargestellt. Kernstück der Vorrichtung 10 ist ein Meßrohr 12, das in einem bei 14 schematisch dargestellten Leitungssystem integriert ist. Das Leitungssystem 14 ist mit einer Pumpe 16 zur Förderung der Flüssigkeit aus einem (nicht dargestellten) Reservoir versehen. Das Meßrohr 12 ist außen mit einem zentral angeordneten Heizelement 18 versehen. Das Heizelement 18 ist in Form einer Heizwendel ausgeführt und steht in wärmeleitendem Kontakt mit der Wandung des Rohres 12. Zu beiden Seiten des Heizelementes 18 (bei Betrachtung in axialer Erstreckung des Meßrohres 12) sind jeweils fünf Temperatursensoren angeordnet, wobei die Temperatursensoren 20, 22, 24, 26, 28 zu der einen Seite und die Sensoren 30, 32, 34, 36, 38 zur anderen Seite des Heizelementes 18 angeordnet sind. Sämtliche Temperatursensoren 20 bis 38 sind außen am Meßrohr angebracht und stehen in wärmeleitendem Kontakt mit dessen Wandung. Die zu den beiden Gruppen gehörenden Temperatursensoren 20 bis 28 bzw. 30 bis 38 sind gleichmäßig voneinander beabstandet und symmetrisch in Bezug auf das Heizelement 18 angeordnet.

Bei den Temperatursensoren 20 bis 38 handelt es sich um temperaturabhängige elektrische Widerstände. Die Temperatursensoren 20 bis 38 und das Heizelement 18 sind elektrisch mit einer Schalteinheit 40 verbunden, die ihrerseits mit einer Steuer- und Auswerteeinheit 42 gekoppelt ist. Mit der Schalteinheit 40 ferner verbunden sind zwei Spannungsversorgungseinheiten 44, 46 für das Heizelement 18 und die Temperatursensoren 20 bis 38. Die Vorrichtung 10 ist in dem Beispiel gemäß Fig. 1 zur Steuerung bzw. Regelung des Durchflusses in der Leitung 14 eingesetzt. Demzufolge ist die Steuer- und Auswerteeinheit 42 mit der Pumpe 16 gekoppelt.

Auf Ansteuerungssignale der Steuer- und Auswerteeinheit 42 hin liefern die Spannungsversorgungen 44, 46 ihre Versorgungsspannungen an das Heizelement 18 und die Temperatursensoren 20 bis 38. Durch Abfragen jedes einzelnen Spannungsabfalls über den temperaturabhängigen elektrischen Widerständen der Temperatursensoren 20 bis 38 kann an den zehn Meßpunkten längs des Meßrohres 12 die (örtliche) Temperatur gemessen werden, die sich ergibt, wenn das Heizelement 18 in der Mitte des Meßrohres 12 diesem eine bestimmte Temperatur aufprägt. Der Bereich des Heizelementes 18 ist also der Temperaturbeeinflussungsbereich 48 des Meßrohres 12. Die beiden am weitesten von diesem Beeinflussungsbereich entfernt liegenden (Außen-)Temperatursensoren 20 und 38 dienen, thermisch entkoppelt, der Kompensation der Eigentemperatur des zu messenden Fluids, wobei diese Eigentemperatur-Kompensation jeweils durch den in Flußrichtung ersten Temperatursensor (entweder Temperatursensor 20 oder Temperatursensor 38) erfolgt. Die einzelnen Spannungsabfälle werden als elektrische Signale über die Schalteinheit 40 der Steuer- und Auswerteeinheit 42 zugeführt, in der die einzelnen Meßwerte zu einem Temperaturprofil zusammengestellt werden und mit in einer Kalibrierungsphase aufgenommenen Tempera-

turprofilen eines Kennlinienfeldes verglichen werden.

Das Vergleichs-Kennlinienfeld von Temperaturprofilen wird in einer Kalibrierungsphase ermittelt. In dieser Kalibrierungsphase wird das Meßrohr 12 nacheinander von Flüssigkeit mit unterschiedlichen bekannten Durchflußraten durchflossen. Die Temperatur des Heizelementes 18 wird dabei konstant gehalten. Den Temperaturverlauf über den einzelnen Temperatursensoren bei unterschiedlichen bekannten Massedurchflüssen zeigt das Kennlinienfeld gemäß Fig. 2. Beim Massedurchfluß von Null stellt sich ein symmetrisches glockenkurvenförmiges Temperaturprofil ein. Dabei ist die Temperatur an den beiden Enden des Meßrohres 12 am niedrigsten. Mit steigendem Massedurchfluß (bei Strömung in Richtung des Pfeils 50 der Fig. 1) verschiebt sich der Meßpunkt höchster Temperatur stromab des Heizelementes 18. Dabei fällt auf, daß sämtliche stromab des Heizelementes 18 angeordneten Temperatursensoren 30 bis 38 (bei gleichbleibender Heizleistung des Heizelementes 18) mit steigendem Massedurchfluß zunächst höhere Temperatur sensieren als beim Massedurchfluß von Null. Schließlich fallen die gemessenen Temperaturwerte der Sensoren 30 bis 38 mit weiter steigendem Massedurchfluß ab, wobei die Temperaturwerte der weiter entfernt vom Heizelement 18 liegenden Sensoren 34 bis 38 jeweils höher sind als beim Massedurchfluß von Null. Das Temperaturverhalten in den Meßpunkten zu beiden Seiten des Heizelementes 18 ist nicht symmetrisch, was Fig. 2 verdeutlicht. Insgesamt läßt sich das Kennlinienfeld gemäß Fig. 2 dadurch erklären, daß mit einsetzendem Massedurchfluß ein durch die Strömung verursachter Wärmetransport stromab des Rohres 12 erfolgt, der ursächlich für das Kennlinienfeld gemäß Fig. 2 ist.

Bei der hier beschriebenen Vorrichtung wird dem Flüssigkeitsstrom durch das elektrische Heizelement 18 ein Wärmestrom konstant (oder alternativ in Pulsen) zugeführt. Wärmeleitung und Wärmedurchgang bedingen eine Übertragung der Wärme durch das Fluid von dem Heizelement 18 auf die Temperatursensoren 20 bis 38. Dabei ist das zeitliche Verhalten der Übertragung ein Maß für den Massedurchfluß. Mittels eines geeigneten Rechners (Steuer- und Auswerteeinheit 42) kann von der Form des Signalprofils (sowie der Wanderungsgeschwindigkeit eines pulsförmigen Signals) auf die Strömungsgeschwindigkeit rückgeschlossen werden. Die dabei auftretenden thermischen Belastungen des Fluids sind sehr klein.

Der hier beschriebene Durchflußsensor ist in der Lage, eine Massedurchflußmessung in einer geschlossenen Rohrleitung durchzuführen, ohne das Fluid mechanisch zu belasten. Die thermischen Belastungen sind dabei sehr gering. Zur Feststellung der Flußrate des Fluids können mehrere Parameter dienen, die der Flußrate proportional sind. Versuchsergebnisse zeigen, daß mit der "Puls-Heiz-Methode" schnelle on-line Messungen möglich sind. Zur Kalibrierung des Systems sowie zur sehr genauen Messung ist dagegen die "Profil-Vergleichsmethode" besser geeignet. Insgesamt fällt auf, daß die Antwortsignale der einzelnen Temperatursensoren 20 bis 38 umso höher werden, je kleiner der Massedurchfluß ist, d. h. je kleiner der Massedurchfluß ist, desto größer ist die Empfindlichkeit der gesamten Vorrichtung.

Die gesamte Vorrichtung kann von außen an eine vorhandene Rohrleitung angebracht werden, ohne daß diese aufgetrennt werden muß. Durch den Einsatz von mindestens zehn Einzelsensoren ist die Aufnahme eines

Kennfeldes möglich. Mit Hilfe dieses Kennfeldes kann die Strömungsgeschwindigkeit (speziell bei sehr kleinen Massedurchflüssen) sehr genau gemessen werden. Bei konstanter Strömungsgeschwindigkeit kann auf die Zusammensetzung eines Mehrstoffmediums geschlossen werden. Ebenso kann die Verschmutzung in Fluid-Kreisläufen erfaßt werden. Andere Parameter wie beispielsweise Viskosität sind ebenfalls meßbar. Außerdem kann auch der Zustand des Rohres, an dem die Vorrichtung 10 von außen angebracht wird, mit Hilfe der thermodynamischen Messung erfaßt werden. So lassen sich beispielsweise anhand einer Anormalität der Temperaturprofile Lochfraß und Inkrustierungen feststellen. Der thermisch entkoppelte Sensor am jeweiligen stromaufliegenden Ende des Meßrohres 12 ermöglicht die Kompensation der Eigentemperatur des Fluids. Da die einzelnen Temperatursensoren 20 bis 38 nicht mit dem Fluid wechselwirken können, genügen preiswerte Bauarten. Der Einsatz eines Kennfeldes ermöglicht sowohl die Analyse des Profils der Temperatursensordaten als auch deren Fläche/Höhe. Durch geschickten Einsatz von Heizpulsen bzw. durch Dauerbeheizung läßt sich, unter Zuhilfenahme eines Rechners, ein selbstabgleichendes System erstellen, welches in der Lage ist, sich unterschiedlichen Betriebstemperaturen wie beispielsweise wechselnden Zusammensetzungen des Fluids oder veränderter Viskosität anzupassen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur insbesondere nicht invasiven Ermittlung mindestens eines interessierenden Parameters eines Fluid-Rohr-Systems, bei dem
  - dem Rohr (12) längs seiner axialen Erstreckung ein nicht lineares Temperaturprofil durch Beeinflussung der Temperatur in einem Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) aufgebracht wird,
  - in axialer Erstreckung des Rohres (12) betrachtet an mehreren Meßpunkten die Temperatur des Rohres (12) zur punktwisen Abtastung von dessen Temperaturprofil gemessen wird und
  - anhand des gemessenen Temperaturprofils der interessierende Parameter des Fluids ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur des Rohres (12) zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs (48) jeweils an mehreren Meßpunkten gemessen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
  - daß in einer Kalibrierungsphase für Fluide mit jeweils unterschiedlichem bekannten interessierenden Parameter die sich bei im Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) ergebenden Temperaturprofile ermittelt und gespeichert werden,
  - daß für ein Fluid mit unbekanntem interessierenden Parameter das sich bei im Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) erfolgender gleicher Beeinflussung der Temperatur ergebende Temperaturprofil gemessen wird,
  - daß das gemessene Temperaturprofil mit den in der Kalibrierungsphase ermittelten Temperaturprofilen verglichen wird und
  - daß der unbekannte interessierende Parameter des Fluids anhand des Vergleichs ermittelt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßpunkte symmetrisch zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs (48) gewählt werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Meßpunkte relativ zum Beeinflussungsbereich (48) des Rohres und/oder das Rohr derart gewählt wird bzw. werden, daß eine Temperaturveränderung in den zu beiden Seiten jeweils am weitesten von dem Beeinflussungsbereich (48) entfernten Meßpunkten im wesentlichen nicht meßbar ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung einer kontinuierlich konstant gehaltenen Temperatur ausgesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung einer diskontinuierlichen Temperatur ausgesetzt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung eine gepulste Temperaturveränderung erfährt.
9. Vorrichtung zur insbesondere nicht invasiven Ermittlung mindestens eines interessierenden Parameters eines Fluid-Rohr-Systems, mit
  - einem Rohr (12), in dem sich das Fluid befindet,
  - einer Temperaturveränderungsvorrichtung (18) zur Beeinflussung der Temperatur des Rohres (12) zwecks Aufprägung eines nicht linearen Temperaturprofils entlang der Längserstreckung des Rohres (12), wobei die Temperaturveränderungsvorrichtung (18) in einem Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) angeordnet ist,
  - mehreren Temperatursensoren (20–38), die in axialer Erstreckung des Rohres (12) angeordnet sind und mittels derer die Temperatur des Rohres (12) an einer Vielzahl von Meßpunkten zur punktwisen Abtastung des Temperaturprofils des Rohres (12) ermittelbar ist, und
  - einer Steuer- und Signalverarbeitungsvorrichtung (40, 42), die mit der Temperaturveränderungsvorrichtung (18) sowie den Temperatursensoren (20–38) verbunden ist und die Temperaturveränderungsvorrichtung (18) ansteuert sowie Ausgangssignale von den Temperatursensoren (20–38) empfängt und diese auswertet,
  - wobei die Ermittlung des interessierenden Parameters des Fluids anhand des punktwise abgetasteten Temperaturprofils des Rohres (12) erfolgt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs (48) jeweils mehrere Temperatursensoren angeordnet sind.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatursensoren (20–38) symmetrisch zu beiden Seiten des Beeinflussungsbereichs (48) angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Anordnung der Meßpunkte relativ zum Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) und/oder das Rohr (12) derart gewählt ist bzw. sind, daß eine Temperaturveränderung durch die Temperaturveränderungsvorrichtung (18) in den zu beiden Seiten jeweils am weitesten von dem Beeinflussungsbereich entfernten Meßpunkten im wesentlichen nicht meßbar ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung einer kontinuierlich konstant gehaltenen Temperatur ausgesetzt ist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung einer diskontinuierlichen Temperatur ausgesetzt ist.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Beeinflussungsbereich (48) des Rohres (12) während der Dauer der Temperaturbeeinflussung eine gepulste Temperaturveränderung erfährt.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---



